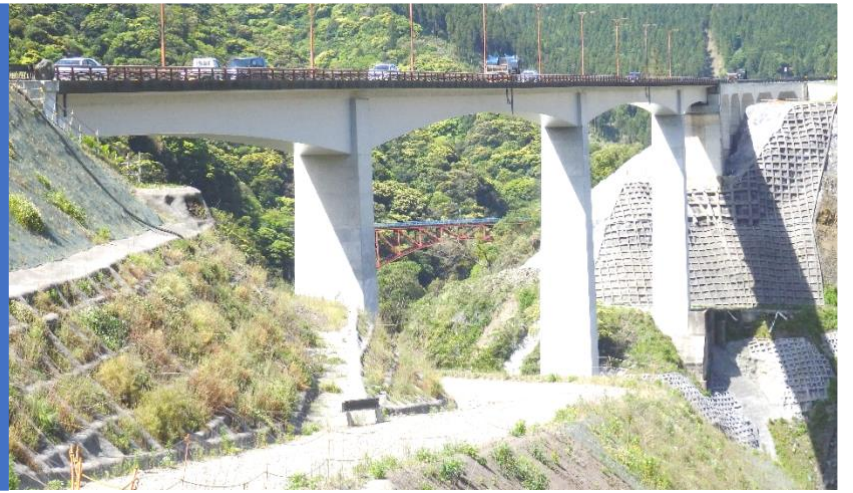


コンクリート打設に伴う温度応力管理

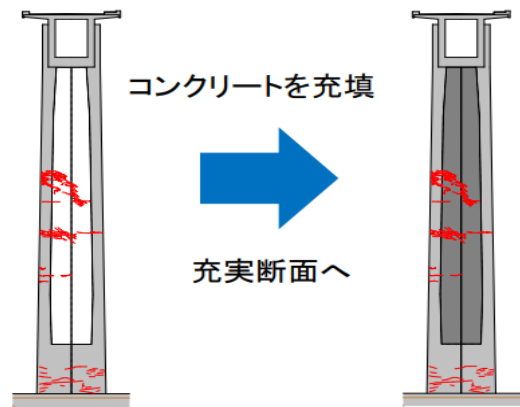
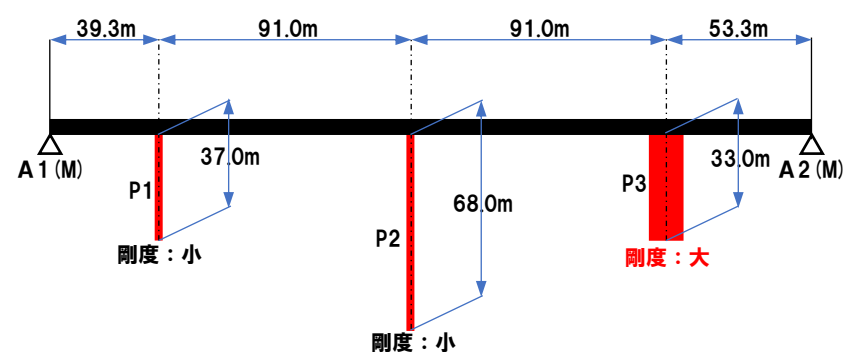
熊本地震で被災したコンクリート橋脚の 耐震補強工事に伴う施工管理



2016 年、熊本地震によって阿蘇長陽大橋は大きな損害を受けました。上晴では、橋脚耐震補強工事を実施する上で、震災影響を受けた橋脚が更なるダメージを受けないよう、また余震による施工工事中の安全把握を評価するため、解析による事前検証及び管理計画を策定し、現場にて無線タイプの光ファイバーセンサーを用いて計測管理を実施しました。

P3橋脚被災状況及び耐震補強対策

阿蘇長陽大橋は、4 径間連続 P C ラーメン箱桁橋であり P1 橋脚高：37.0m・P2 橋脚高：68.0m・P3 橋脚高：33.0m とハイピアを有しています。P3 橋脚の剛度が大きいと、貫通ひび割れや主鉄筋の圧接箇所破断の被害が集中的に確認されました（右下写真）。当該橋脚は中空断面橋脚であり、被害によって低下した断面剛性を回復するため、橋脚中空内にコンクリートを充填して確実な剛度回復を実施することとなりました。



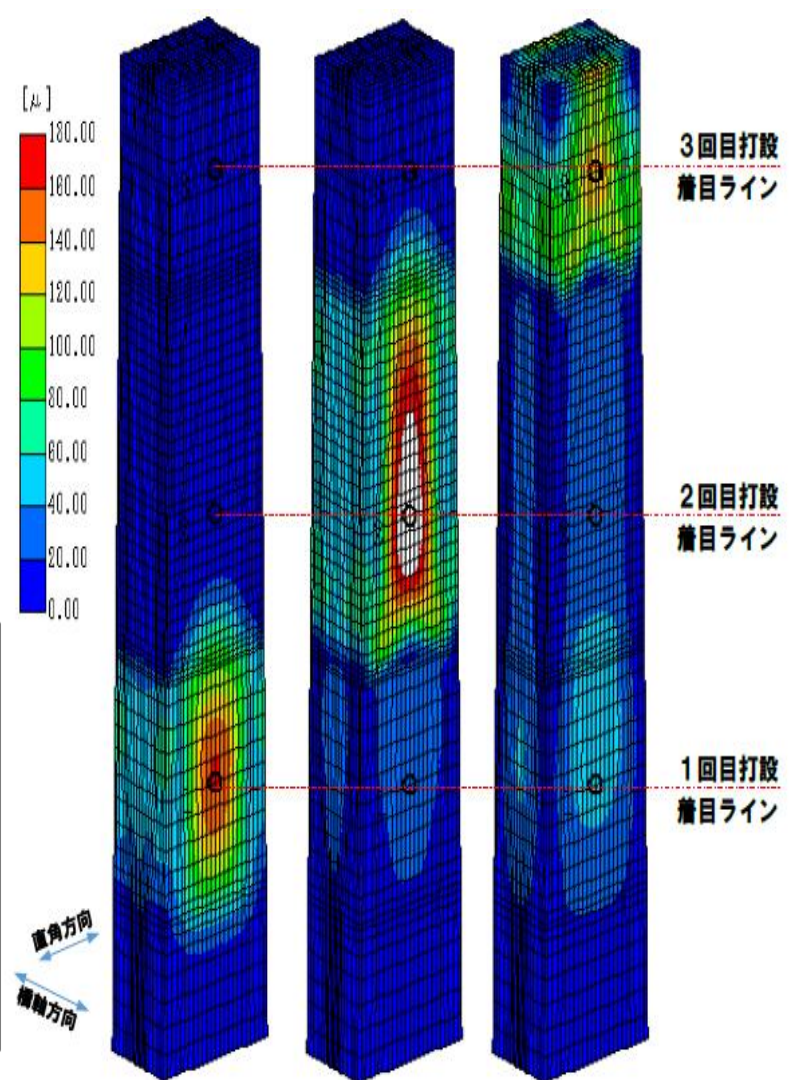
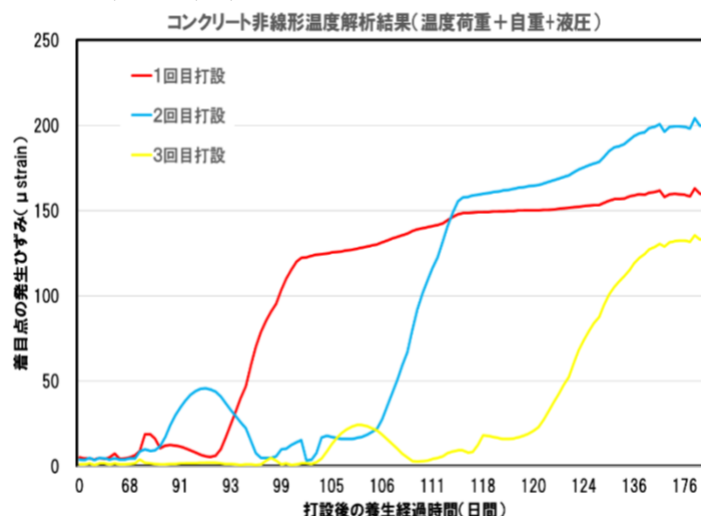
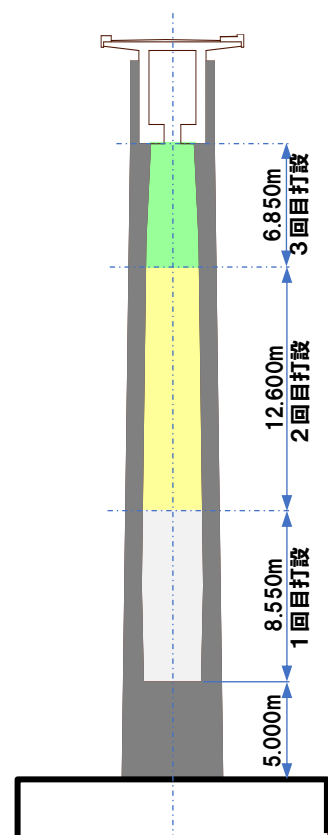
【P3 橋脚貫通ひび割れ】

【主鉄筋継手部圧接箇所の破断】

コンクリート打設時の温度応力影響(温度解析による水和熱反応による影響評価)

コンクリート打設時の留意事項として、①打設コンクリート自重及び液圧による腹膨れ及び②打設・養生期間内の水和熱反応による橋脚躯体膨張が懸念されました。そこで施工時の判断（管理）基準を策定するため F E M 解析によるコンクリート非線形温度解析（水和熱モデル：JCI2008）を実施しました。解析

条件として、 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ の高流動コンクリートによる打設回数を 3 回に設定し、打設間隔を 2 週間、打設時の初期温度を当該地域の 4 月を想定し 16°C 程度に設定しています。その結果、最大発生ひずみが $\varepsilon=135.6\sim 204.2\mu\text{strain}$ と許容値の 25% 以下に抑制する結果となりました。

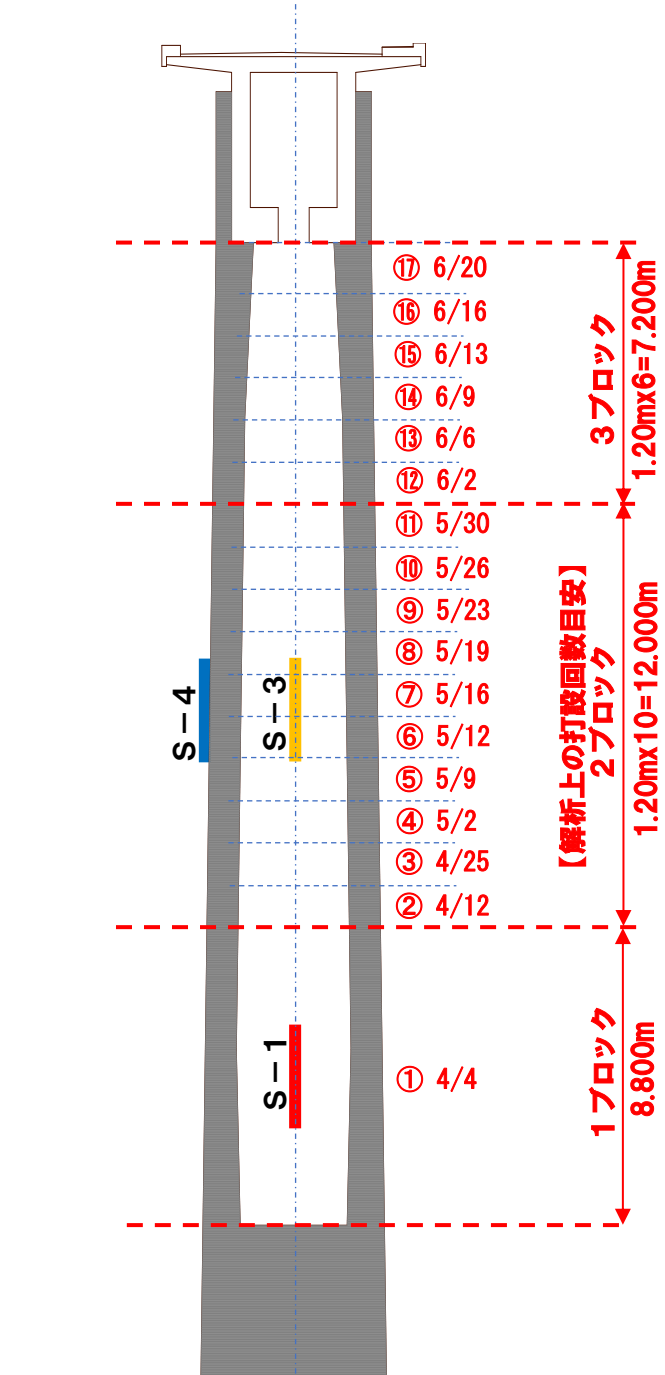


無線タイプの光ファイバーセンサーを用いた施工時のモニタリング管理の実施

先のコンクリート非線形温度解析は、解析条件には震災影響を考慮しておらず、実際の施工時挙動がどのようになるか不明確です。また震災直後は大きな余震も頻発しており、施工中の構造物の安全性確認が非常に重要なファクターとなります。これらの留意事項を考慮して、高流動コンクリート打設に伴う橋脚躯体に発生するひずみ変動を、光学センサーを用いてモニタリングすることとしました。

今回使用した計測システムは、センサー自体にバッテリー搭載した単独駆動が可能で、かつ無線マルチホップに対応した光ファイバーセンサー（右写真・図）を使用しています。そのため、現場での電源は不要であり、配線計画等の煩わしい作業も必要としません。更に、これから実施する施工作业に障害となることもありません。データ管理も WiFi を活用することで、遠隔操作にて施工管理モニタリングを実施可能です。

高流動コンクリート打設ステップは、より安全性を考慮し、1 回目の打設で全体の 1/3 を打設（解析上の 1 回目打設相当）し、以後、1.200m 毎に 16 回打設、合計 17 回打設することで中空橋脚内部を完全充填することとしました。

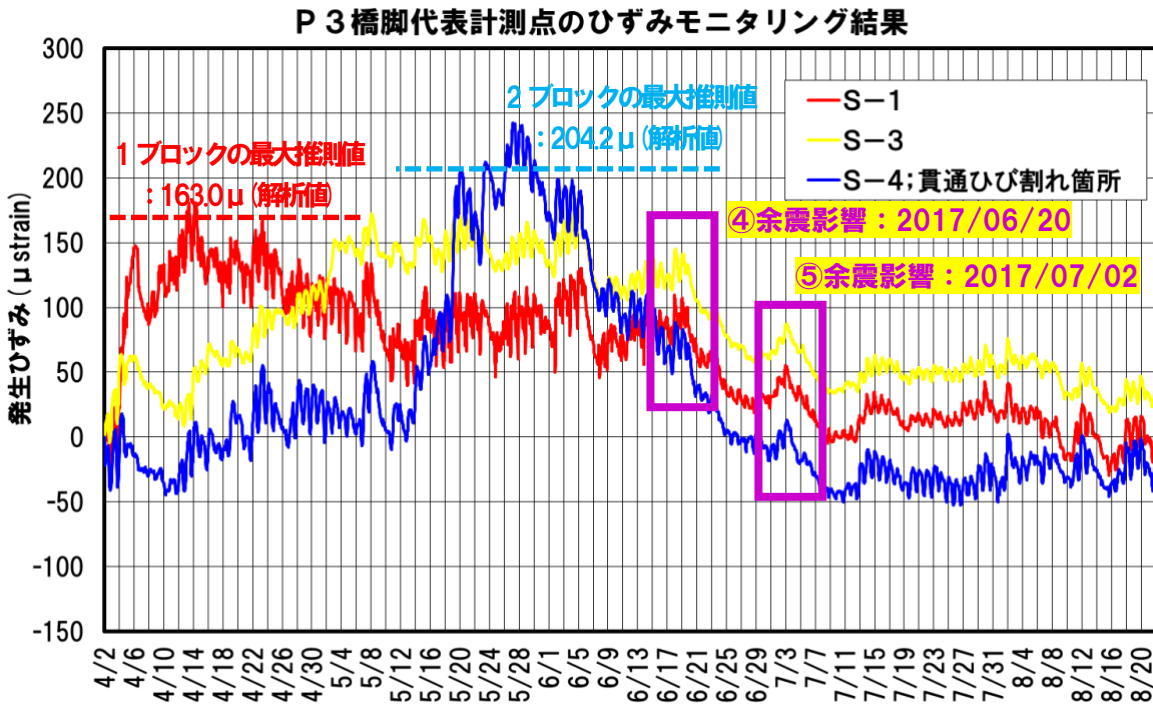


【施工期間内に発生した7つの余震レベル】

	①最大発生加速度 (gal)	②標準加速度 (gal)	設計水平震度：kh ①／②
① 2017/05/04 (14:22:28)	33.8 益城観測所	980	0.034
② 2017/06/07 (18:20:40)	5.6 一の宮観測所	980	0.006
③ 2017/06/18 (22:34:08)	9.3 高森観測所	980	0.009
④ 2017/06/20 (23:27:56)	81.0 高森観測所	980	0.083
⑤ 2017/07/02 (00:58:27)	157.8 高森観測所	980	0.161
⑥ 2017/07/07 (04:06:09)	41.7 一の宮観測所	980	0.043
⑦ 2017/08/08 (21:27:58)	37.6 益城観測所	980	0.038

下右図は代表する計測位置のひずみモニタリングトレンドです。

ピックアップした計測位置は、1 回当たりの打設量が多い『S-1 センサー』と橋脚中央部に位置する『S-3 センサー』及び貫通ひび割れが確認できた『S-4 センサー』です。この結果から、貫通ひび割れ箇所である S-4 センサーで解析値：204.2 μ より大きいひずみが計測されましたが、時間の経過とともに収束傾向が確認でき、問題なく高流動コンクリート打設を計画的に管理することができました。



施工中の余震影響(モニタリングによる安全管理)

左表は、施工期間内で当該橋近隣の地震観測所で作られた7つの余震レベルを示したものです。設計水平震度に換算すると、全てにおいてkh<0.20 未満であり、震度法の標準設計水平震度にも満たない状況でありました。上図のモニタリング結果においける□部分は、中でも大きい余震であった④6月20日及び⑤7月2日の余震に対するひずみトレンドです。地震発生後、局所的にひずみの増加傾向が確認できましたが、時間経過（概ね4日間程度）とともに収束する傾向が確認でき、施工をストップすることなく進行することができました。

このように上晴では、一連の施工を解析・評価基準策定・管理を一括して実施することが可能であり、施工の確実性と安全性に常に取り組んでおります。

